

Astronomía fuera de lo visible

Beatriz García, Ricardo Moreno

International Astronomical Union, Universidad Tecnológica Nacional (Mendoza, Argentina), Colegio Retamar (Madrid, España)

Resumen

Los objetos celestes irradian en muchas longitudes de onda del espectro electromagnético, pero el ojo humano sólo distingue una parte muy pequeña de él: la región del visible. Hay formas de demostrar la existencia de formas de radiación electromagnética que no vemos, mediante experimentos sencillos. En esta presentación será posible introducirse en aquellas observaciones más allá de lo que es observable a simple vista o con un telescopio que puede usarse en una escuela de primaria o secundaria.

Objetivos

Esta actividad pretende mostrar ciertos fenómenos más allá de lo que puede ser observable con un telescopio de aficionado como son la existencia de:

- Energía electromagnética en la que los cuerpos celestes emiten y que nuestro ojo no puede detectar. Por esa razón, con sólo la parte visible del espectro no tenemos una imagen total del Universo.
- Emisiones no visibles en las regiones de las ondas de radio, infrarrojo, ultravioleta, microondas y rayos X.

Espectro electromagnético

Las ondas electromagnéticas cubren una amplia gama de frecuencias o de longitudes de ondas y pueden clasificarse según su principal fuente de producción. La clasificación no tiene límites precisos. El conjunto de todas las longitudes de onda se llama espectro electromagnético.

En la figura 1 se muestran las distintas regiones del espectro, con sus diferentes longitudes de onda. Se indica el tamaño entre las crestas de la onda (longitud de onda λ) y algunos objetos de esos tamaños: átomos, moscas, montañas... para hacernos una idea de las dimensiones de las ondas. En la misma figura es posible apreciar cómo se “ven” el Sol y Saturno si los observamos en longitudes de onda que nuestros ojos no pueden detectar. Esas fotografías se han hecho con detectores especiales sensibles a esas longitudes de onda.

En el Universo, hay material que está a temperaturas mucho más bajas que la de las estrellas, por ejemplo, nubes de material interestelar. Esas nubes no emiten radiación visible, pero sí pueden ser detectadas en longitudes de onda larga, como el infrarrojo, las microondas y las ondas de radio. Observar el Universo en todas las regiones del espectro electromagnético, lo que los astrónomos denominan “observación multi longitud de onda”, nos permite tener una

imagen mucho más precisa de su estructura, temperatura y energía, y confeccionar modelos mucho más realistas vinculados con su evolución.

Fig. 1: Espectro electromagnético, con objetos del tamaño de esas ondas. El Sol (arriba) y Saturno (abajo) observados en distintas longitudes de onda (los colores son simulados).



Fig. 2: El centro de nuestra galaxia la Vía Láctea fotografiado en distintas longitudes de onda

En la figura 2 se observa el centro de nuestra galaxia la Vía Láctea fotografiado por los telescopios espaciales Spitzer (en infrarrojo), Hubble (en visible) y Chandra (en rayos X). En cada una de ellos se observan objetos y detalles que en otras longitudes de onda no se ven.

Actividad 1: Construcción de un espectroscopio

La luz blanca de una bombilla con filamento está compuesta de todos los colores. En las bombillas que tienen gas (tubos fluorescentes, bombillas de bajo consumo y de farolas) la luz sólo contiene unos colores determinados. Si separamos los colores de la luz, obtenemos su espectro, que en el caso de los gases está formado por un conjunto de líneas de colores. Cada tipo de gas tiene un espectro propio, que es como la huella digital de los compuestos que hay en el gas. Si observamos con un espectroscopio la luz de una galaxia lejana, las líneas propias del hidrógeno y del resto de gases se ven desplazadas hacia el rojo, tanto más cuanto más lejos esté la galaxia.

Toma un CD o un DVD (figura 3a), con unas tijeras fuertes corta de forma radial un trozo. Si usas un CD, debe ser plateado por la cara que no se graba, es decir, no debe estar impreso, ni ser blanco ni de otro color. Para desprender la capa metálica del CD, puedes servirte de cinta adhesiva, rayando previamente la superficie (figura 3b). Si usas un DVD, lo anterior no es necesario: basta separar en el trozo cortado la capa de plástico superior de la inferior doblándolo ligeramente o con la ayuda de un destornillador, y tendrás la red de difracción preparada.

Haz una fotocopia en papel de la plantilla de la figura 4. Si lo haces en tamaño A3 será más preciso. Recorta la plantilla, incluyendo la parte blanca en forma de sector circular, y haz una rendija fina en la raya cercana a la escala graduada. Esta escala NO hay que recortarla. Arma la caja dejando la parte negra en el interior, y pega las solapas. En el hueco dejado por el sector circular, pega el trozo de CD o DVD que hemos preparado. Está impreso “CD” y “DVD”, para recortar uno u otro sector circular y rendija, según el tipo de disco.

Fig. 3a: Material necesario: DVD, tijeras y caja de cartón Fig. 3b: Retirando la capa metálica del CD, con cinta adhesiva

Mira a través del trozo de disco, dirigiendo la rendija de la caja (no la escala) a una lámpara de bajo consumo o un tubo fluorescente (figura 5), verás claramente sobre la escala las líneas de emisión de los gases que contienen esas bombillas. Si no las ves, mira a la derecha de la lámpara y mueve el espectroscopio lentamente hacia la izquierda hasta que aparezcan las líneas. La escala está graduada en cientos de nanómetros, es decir, la marca 5 indica 500 nm

($500 \cdot 10^{-9}$ m). Cuanto más fina sea la rendija, con mayor precisión podrás medir la longitud de onda de las rayas.

Fig. 4: Plantilla para el espectroscopio

Fig. 5: Mirando a un fluorescente

Puedes hacer la caja con cartulina. En ese caso deberás recortar el rectángulo de la escala y pegar sobre ese hueco una copia de la escala hecha en papel normal, para que se pueda transparentar la escala.

Se pueden mirar las farolas de las calles, tanto las naranjas (de sodio) como las blancas (de vapor de mercurio). Las bombillas incandescentes tradicionales ofrecen un espectro continuo

Actividad 2: Visualización líneas de Sodio

La espectroscopia permite conocer la composición química de estrellas y exoplanetas estudiando los espectros que nos llegan. Veamos un ejemplo usando una vela donde impregnaremos la mecha con un poco de sal común (Na Cl) para ver la línea de emisión del Sodio que corresponde a una longitud de onda de 589.

Fig. 6: Sodium emission line

Actividad 3: Descomponiendo la luz solar con gotas de agua

Los niños pueden descomponer la luz solar y crear un arcoíris. Necesitan una manguera con un chorro fino. Deben estar de espaldas al sol (figura 7).

Fig. 7: The teacher of the youngest students can decompose light into a rainbow

El Infrarrojo

La región infrarroja del espectro electromagnético fue descubierta por William Herschel (el descubridor del planeta Urano) en 1800 utilizando un prisma y unos termómetros. Para ello obtuvo el espectro visible, haciendo pasar la luz blanca del Sol a través de un prisma y colocó varios termómetros, uno en la región del azul, otro en el rojo (ambos colores detectables por el ojo) y puso un tercer termómetro más allá del rojo, inmediatamente después. Con un cuarto termómetro midió la temperatura ambiente y descubrió que la temperatura que marcaba el termómetro en la zona “por debajo” del rojo (y de ahí su nombre “infra” rojo) era mayor que la del ambiente.

Herschel hizo otros experimentos con los “rayos caloríficos” (como los llamaba) que existían más allá de la región roja del espectro: eran reflejados, refractados, absorbidos y transmitidos igual que la luz visible. Estos “rayos caloríficos” fueron posteriormente denominados rayos infrarrojos o radiación infrarroja. Esos descubrimientos fueron seguidos de otros que desembocaron en varias aplicaciones tecnológicas.

Los cuerpos que se encuentran a baja temperatura no emiten en la región visible del espectro, sino en longitudes más largas por lo que la energía que liberan es menor. Por ejemplo, nuestro cuerpo y el de los animales emiten una radiación infrarroja que no la detectamos con el ojo, pero que podemos percibir como el calor que emite el organismo. Todos los objetos que estén a cierta temperatura emiten en infrarrojo (figura 8). Para verlos de noche fueron inventados los anteojos de visión nocturna, que permiten detectar esta radiación que no percibe el ojo.

Fig. 8: Fotografía con infrarrojos. Se distinguen zonas más o menos calientes

Actividad 4: Experimento de Herschel en la banda IR

El objetivo es repetir el experimento de 1800, mediante el cual el famoso astrónomo William Herschel descubrió una forma de radiación distinta de la luz visible. Necesitaremos un prisma de vidrio, cuatro termómetros, rotulador permanente de tinta negra, tijeras, cinta adhesiva, una caja de cartón y una hoja blanca. Ponemos cinta adhesiva en los bulbos de los termómetros y los pintamos con rotulador negro para que absorban mejor el calor.

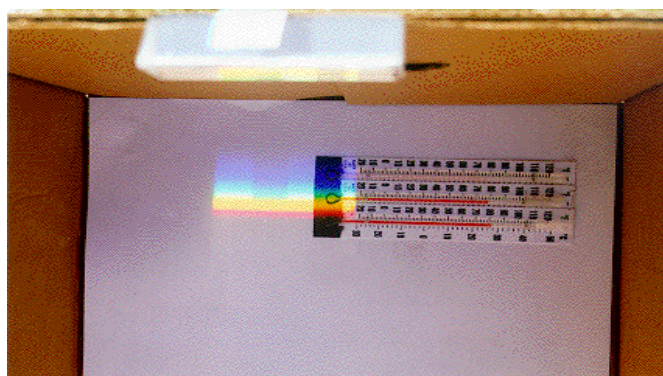


Fig. 9: Dispositivo de Herschel. Los tres termómetros en el espectro marcan mayor temperatura que el ambiente

El experimento se debe realizar al aire libre, en un día MUY soleado. Si hay mucho viento, la experiencia puede hacerse en el interior, siempre que tenga una ventana por donde el Sol ingrese de manera directa. Se coloca una hoja blanca, en el fondo de la caja de cartón. El prisma se coloca cuidadosamente en el borde superior de la caja, de modo que quede del lado del Sol. El interior de la caja debe quedar todo o casi todo en sombra (figuras 9 a 10c). Se gira el prisma cuidadosamente hasta que aparezca un espectro lo más amplio posible sobre la hoja situada en el fondo de la caja.

Después de asegurar con cinta adhesiva el prisma en esa posición, colocamos tres termómetros en la luz del espectro, de manera que cada bulbo esté en uno de los colores: uno en la región azul, otro en la amarilla y el tercero un poco más allá de la región roja visible. Se debe poder ver bien la escala graduada, para no mover el termómetro cuando tomemos las medidas. El cuarto termómetro lo ponemos en la sombra, no alineado con los anteriores (figuras 9 a 10c).

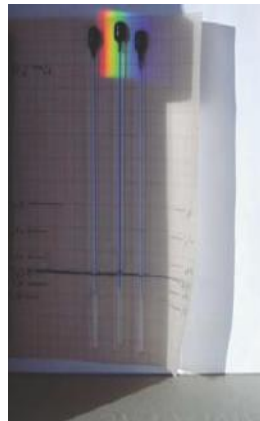


Fig. 10a: Situando los tres termómetros, con el bulbo negro, y el espectro en la parte de la sombra.

Fig. 10b: Los termómetros en el azul, en el amarillo y justo después del rojo.

Fig. 10c: Un ejemplo de las medidas a los 3 minutos.

Las temperaturas tardan unos cinco minutos en alcanzar sus valores finales. Registramos cada minuto en la tabla (ver tabla 1), las temperaturas en cada una de las tres regiones del espectro y en el de ambiente. No hay que mover los termómetros de su posición en el espectro ni bloquear su luz.

El termómetro en el amarillo (figura 10c) debería marcar una temperatura algo mayor que en el azul; y en el del ambiente, y el que esté cerca del rojo debería marcar una temperatura todavía algo mayor, por lo que es lógico deducir que al termómetro junto al rojo le llega algún tipo de radiación del Sol, invisible a nuestra vista.

	Termómetro nº 1 en el azul	Termómetro nº 2 en el amarillo	Termómetro nº 3 más allá del rojo	Termómetro nº 4 a la sombra
Después de 1 minuto				
Después de 2 minutos				
Después de 3 minutos				
Después de 4 minutos				
Después de 5 minutos				

Tabla 1: Tabla de toma de datos

Actividad 5: Detección del IR con un instrumento tecnológico moderno

Si queremos detectar el IR con instrumentos tecnológicos modernos, probablemente lo primero que viene a la mente son los visores nocturnos, preparados para ver el infrarrojo que emiten nuestros cuerpos. Pero ese no es un recurso al alcance de cualquiera. Veamos un procedimiento más económico y fácil de reproducir.

Los mandos a distancia que utilizamos para encender el televisor, el equipo de música o el microondas utilizan rayos infrarrojos (los que tienen una bombillita roja no nos sirven). ¿Habrá una manera sencilla de ver esa radiación no visible y que de pronto se convierta en detectable?

Para eso debemos buscar un detector sensible al IR. Existe un producto tecnológico de envergadura, que se debe al desarrollo del estudio de la luz en Astronomía, llamado CCD (según las iniciales de su denominación en inglés: Charged Coupled Device). Este dispositivo permite capturar y acumular fotones durante un período de tiempo determinado, de manera que podemos detectar objetos que emiten o reflejan poca luz. El CCD es más sensible en la región del rojo y, en algunos casos, su rango de eficiencia cubre el IR cercano. Cualquier cámara o videocámara moderna posee un CCD para la adquisición de imágenes. Esto permite sacar fotos en condiciones de muy bajo nivel de iluminación. El dispositivo más sencillo, de uso cotidiano, que posee una cámara moderna y por lo tanto un detector CCD, es el teléfono móvil.

Si miramos el control remoto con nuestros ojos de manera directa, no advertiremos ninguna diferencia entre encendido y apagado, como en la figura 11a. Pero si tomamos la foto con el mismo teléfono móvil, y con el control remoto activado (figura 11b)... ¡Sorpresa! La luz que utiliza el control para enviar la señal que enciende el televisor o cualquier otro equipo electrónico, es una luz infrarroja, que nuestro ojo no ve pero la cámara del teléfono sí detecta. El color de esa luz es color falso.

Fig. 11a: Control remoto encendido si lo miramos a simple vista

Fig. 11b: Control remoto si lo miramos a través del teléfono móvil

Actividad 6: Detección de la luz infrarroja de una bombilla

La mayoría de los cuerpos del cielo emiten en muchas longitudes de onda. Si entre ellos y nosotros hay polvo o gas, algunas longitudes de onda pueden quedar bloqueadas, pero otras no. Por ejemplo, el polvo que hay en el centro de nuestra galaxia nos impide ver la intensa luz visible producida por la concentración de millones de estrellas que hay allí. Si embargo ese polvo es transparente a la luz infrarroja, que consigue atravesarla y llegar hasta nosotros. Ocurre lo mismo con otras nubes de polvo oscuro en nuestra galaxia (figuras 12a y 12b).

Fig. 12a: Nube de polvo en la región visible

Fig. 12b: Superponiendo la visión infrarroja

En las emisiones de una bombilla de filamento incandescente, la mayor parte de la energía que emite es en la región visible, pero también emite en infrarrojo, que puede atravesar lo que el visible no puede. Utilizaremos una linterna y un trozo de tela de fieltro. Esta tela no está tejida y bloquea especialmente bien la luz visible.

En una habitación a oscuras, encendemos la linterna. A continuación la tapamos con el fieltro y comprobamos que no vemos su luz (figuras 13a y 13b). Si no es así, ponemos otra capa de fieltro (lo podemos doblar) o incluso una tercera. No conviene poner más de las necesarias, pues se puede bloquear también toda la radiación infrarroja. En esa habitación lo más a oscuras posible, si la observamos con la cámara de fotos de nuestro teléfono móvil, que capta la radiación infrarroja, vemos que sí se distingue la bombilla (figuras 13a y 13b).

Fig. 13a y 13b: El filtro bloquea totalmente la luz visible pero no la infrarroja

Actividad 7: Constelación con infrarrojos

En las tiendas de componentes electrónicos o en Internet, venden LEDs infrarrojos, similares a los que usan los mandos a distancia de TV, aparatos de música, etc. Son muy baratos, funcionan con una pila de 3 ó 9 v, o con un alimentador de corriente continua. Se conectan entre sí en paralelo, con una resistencia entre 100 y 500 Ω .

Fig. 14a y 14b: Casiopea hecha con LEDs infrarrojos conectadas en paralelo

Puedes hacer un pequeño circuito con varios LEDs, formando una constelación conocida, por ejemplo Casiopea (figuras 14a y 14b), Orión, la Cruz del Sur o la Osa mayor (Según sea el cielo que ves desde el hemisferio en donde vives). Observada con la cámara de fotos del teléfono, puedes verla en el infrarrojo.

Actividad 7: Constelación con mandos a distancia

Más fácil que lo anterior es formar entre varias personas una constelación conocida con mandos a distancia infrarrojos. Si se las observa a oscuras con una cámara digital, se ve la constelación (figuras 15a y 15b).

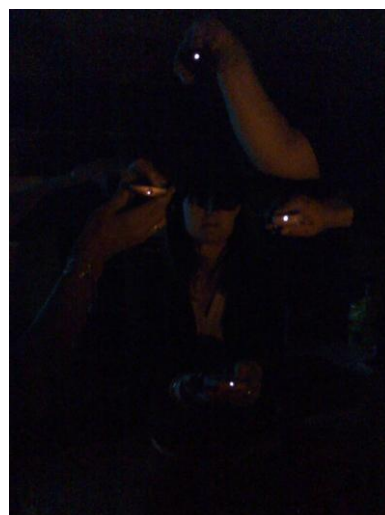


Fig. 15a y 15b: Formando la constelación Cruz del Sur con mandos a distancia infrarrojos

Energía electromagnética en la región de radio

Las ondas electromagnéticas de longitud de onda desde metros a kilómetros, se llaman ondas de radio. Son las que se usan en las emisoras comerciales, pero también nos llegan desde el espacio. Esta radiación nos muestra morfologías que en otras longitudes de onda no se ven (figuras 16a, 16b y 16c).

Fig. 16a: Esta galaxia emite unos chorros sólo detectables en radio (coloreados artificialmente de rojo).

Fig. 16b: Fotografía de la galaxia NGC 4261 en el visible.

Fig. 16c: La misma galaxia con la imagen de radio superpuesta. Se observan unos chorros de materia coloreados artificialmente de rojo.

En el Universo hay intensas fuentes de radio: el centro de nuestra galaxia, estrellas de neutrones en rápida rotación, o incluso algunos planetas como Júpiter.

Actividad 9: Produciendo ondas de radio

Al abrir y cerrar un circuito eléctrico, se producen ondas de radio, similares a las emisiones comerciales. Se pueden captar en un aparato de radio, en la banda AM, y transformarlas en sonido, que es otro tipo de ondas. La potencia de esas emisiones de radio disminuye al alejarse el receptor. Las ondas de radio pueden atravesar obstáculos e incluso paredes.

Para realizar este experimento, tomamos dos trozos de cable de unos 20 cm cada uno. Quitamos el plástico en los dos extremos de uno de los trozos. En el otro cable, quitamos también el plástico en un extremo, dejamos unos 10 cm con plástico y quitamos también el plástico en el resto. En el extremo donde hay mucho cable pelado, haz con él una bola. El otro extremo conéctalo a un borne de una pila de 9 V.

Sacamos punta a un lápiz por los dos extremos. Su mina de carbón nos servirá de resistencia, por lo que no valen las pinturas de colores. En uno extremo conectamos la mina al primer trozo de cable, asegurándolo con cinta adhesiva. El otro extremo del cable lo conectamos al segundo borne de la pila (figura 17).

Encendemos la radio y la ponemos en la banda de AM, (no de FM). Golpeamos con la punta libre del lápiz a la bola de cable. Movemos la sintonía de la radio hasta que se pueda oír por la radio los golpecitos que damos a la bola. Podemos probar a alejar la radio, a poner obstáculos de cartón, madera, etc. También podemos llevarnos la radio a otra habitación y comprobar si se oye o no. Debe tenerse en cuenta que la energía electromagnética producida se transforma primero en eléctrica y luego en sonora

Fig. 17: Produciendo ondas de radio

Luz Ultravioleta

Los fotones de luz ultravioleta tienen más energía que los de luz normal visible. Eso hace que esta luz, en dosis altas, destruya enlaces químicos de las moléculas orgánicas, por lo que es mortal para la vida. De hecho se usa para esterilizar material quirúrgico.

El Sol emite esta radiación, pero afortunadamente la atmósfera (en especial la capa de ozono) filtra la mayor parte, y sólo nos llega la justa para que sea beneficiosa para la vida. Esta luz es la que pone morena nuestra piel, las plantas la absorben para la fotosíntesis, etc. Pero si la capa de ozono disminuyese su espesor, nos llegaría demasiada dosis y aumentarían mucho las enfermedades de tipo cancerosas.

Actividad 10: Luz negra (UV)

Hay bombillas llamadas de Luz negra, que emiten sobre todo en UV, y se usan con frecuencia para favorecer el crecimiento de las plantas en invernaderos o en zonas con poca iluminación solar. El cristal de esas bombillas suele ser casi negro, y emiten sólo un poco de luz visible azul oscura. Algunos tejidos sintéticos blancos de camisas y camisetas son fluorescentes con esa luz y la reflejan de un color morado brillante. Por esa razón esta iluminación se usa en algunas discotecas, pues los tejidos blancos se ven relucientes.

Fig. 18a: Un billete de 50 € iluminado con luz UV, muestra unas pequeñas tiras fluorescentes marcadas aquí con flechas..

Fig. 18b: Detector de billetes falsos, que usa luz ultravioleta.

Esa propiedad se usa también al fabricar el papel de muchos billetes: se introducen unas pequeñas tiras de material fluorescente, que son visibles al ser iluminados por luz UV (figura 18a). De esta forma se ve que no es una simple fotocopia del billete. Esta luz viene incorporada en los aparatos detectores de billetes falsos (figura 18b). Muchos carnets oficiales tienen escudos o letreros que sólo son visibles con luz UV.

Actividad 11: Luz negra (UV)

Hay materia que emite luz al iluminarla con UV. Si es FOSFORECENTE, emite luz visible durante un tiempo. A modo de ejemplo se pueden considerar elementos decorativos (Fig. 19a y Fig 19b).

Fig. 19a: Estrellitas de decoración y Fig. 19b Carteles de emergencia.

Actividad 12: Material Fluorescente y UV

Hay materiales que filtran mucha luz UV, como el vidrio. Los anteojos de Sol deben ser de vidrio, no de plástico, para proteger la retina, que es tejido epitelial. Si son de plástico (orgánicos), deben tener filtro UV.

Fig. 20a: Anteojos de vidrio sobre material fosforescente, iluminados con luz UV

Fig. 20b: Al retirar los anteojos, se ve cómo han filtrado la luz UV

Rayos X

Más energética que la UV es la radiación X. Se usa en medicina en las radiografías y otras formas de radiodiagnóstico (figura 21a).

Fig. 21a: Placa de rayos X usada en medicina Fig. 21b: Galaxia M81 con el núcleo fotografiado en Rayos X, que sugiere la presencia de un agujero negro muy masivo.

En el cosmos, los focos de rayos X son característicos de sucesos y objetos muy energéticos: agujeros negros, colisiones, etc. El telescopio espacial Chandra tiene como misión la detección y seguimientos de estos objetos (figura 21b).

Rayos Gamma

En el extremo del espectro, y con longitudes de onda todavía más cortas que las anteriores está la radiación gamma. Es la radiación más energética y se produce cuando materia (un electrón) se encuentra con antimateria (un positrón), ambas se aniquilan produciendo fotones gama. En el cosmos hay diversas fuentes (figura 22a), pero no es raro que haya violentas erupciones puntuales que emiten durante unas pocas horas un potente chorro de rayos gamma. Como duran tan poco, el problema es detectarlas y definir su situación exacta, para saber qué objeto había en esa posición antes del estallido e intentar averiguar qué ha pasado. Los astrónomos suelen asociarlos a colisiones de agujeros negros, aunque todavía no está muy claro.

Fig. 22a: Mapa del universo tal como lo ve el “Fermi Gamma-Ray Space Telescope”. La línea central es nuestra galaxia. Fig. 22b: Gammagrafía ósea del cuerpo humano

En la Tierra esta radiación la emiten la mayoría de elementos radioactivos. Igual que los rayos X, se usan en medicina tanto en pruebas de imagen (figura 22b) como en terapias para curar enfermedades como el cáncer.

Bibliografía

- Mignone, C., Barnes, R., More than meets the eye: how space telescopes see beyond the rainbow, Science in the School, Eiro Forum, 2014
- Moreno, R, *Experimentos para todas las edades*, Ed. Rialp. Madrid 2008.

Fuentes Internet

- Spitzer Telescope, Educacion, California Intitute of Technology.
<http://www.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/index.shtml>

- http://www.scienceinschool.org/2014/issue29/EM_Astronomy
- <https://www.khanacademy.org/science/cosmology-and-astronomy/universe-scale-topic/light-fundamental-forces/v/introduction-to-light>
- Chandra X-ray Observatory <http://chandra.harvard.edu/about/>
- The Fermi Gamma-ray Space Telescope <http://fermi.gsfc.nasa.gov/>